

①

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 07-051989

(43)Date of publication of application : 28.02.1995

(51)Int.Cl.

B23Q 15/00  
G05B 19/18  
G05B 19/4103

(21)Application number : 05-231075

(71)Applicant : YACHIYODA KOGYO KK

(22)Date of filing : 06.08.1993

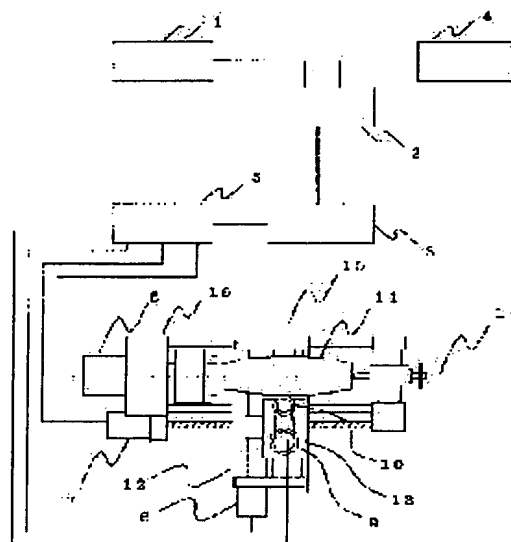
(72)Inventor : URATA EIZO  
NAKAO YOICHI  
MACHIDA TORU

## (54) FREE-FORM SURFACE MACHINING DEVICE

## (57)Abstract:

PURPOSE: To machine a work into a desired free-form surface based on tool route data by originating tool route data needed in order that a rotating work is machined in a desired free-form by a cylinder tool based on shape data of a free-form surface body.

CONSTITUTION: From shape data stored at a memory means 1 and the size of a cylinder tool 10, tool route data is produced by a computer 2 and stored at a memory means 4. The tool route data is fed from the memory means 4 through an interface 3 to a servo controller 5. The servo controller 5 is caused to control servo motors 6, 7, 8 and by moving the cylinder tool 10 according to indication made based on the tool route data, the work 11 is cut or ground into a free-form surface body by the cylinder tool 10.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-51989

(43)公開日 平成7年(1995)2月28日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
B 2 3 Q 15/00	3 0 3 Z	9136-3C		
G 0 5 B 19/18				
19/4103				
		9064-3H	G 0 5 B 19/ 18	C
		9064-3H	19/ 415	J
			審査請求 未請求 請求項の数1	書面 (全 13 頁)

(21)出願番号 特願平5-231075

(22)出願日 平成5年(1993)8月6日

(71)出願人 000234960

八千代田工業株式会社

千葉県東葛飾郡沼南町高柳671番地

(72)発明者 浦田 暎三

東京都町田市小川2丁目18番18号

(72)発明者 中尾 陽一

神奈川県逗子市池子2丁目30番14号

(72)発明者 町田 亨

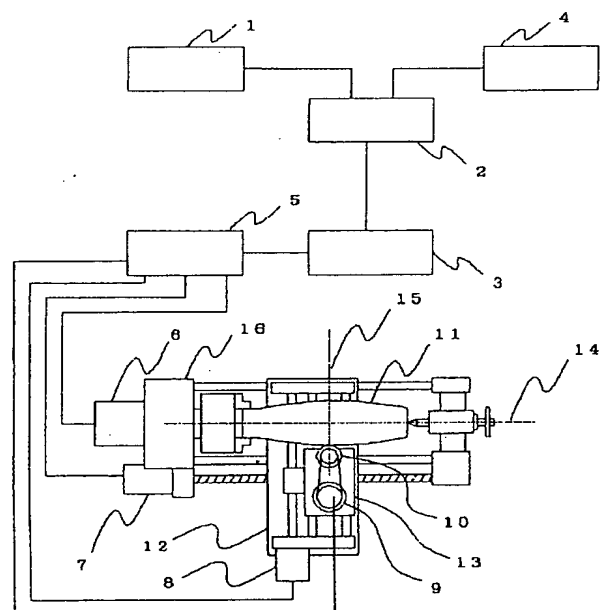
千葉県東葛飾郡沼南町高柳157番地

(54)【発明の名称】 自由曲面加工装置

(57)【要約】

【目的】 本発明は自由曲面体の形状データから回転する工作物を円筒工具により所望の自由曲面に加工するために必要な工具経路データを作成し、工具経路データにより工作物を所望の自由曲面に加工する。

【構成】 本発明は記憶手段1に蓄えられた形状データと円筒工具10の寸法とからコンピュータ2により工具経路データを生成し記憶手段4に蓄え、工具経路データを記憶手段4からインターフェイス3を経てサーボコントローラ5に送り、サーボコントローラ5はサーボモータ6、7、8を制御し円筒工具10を工具経路データにより指示された通りに動かすことにより、工作物11を円筒工具10により自由曲面体に切削または研削加工する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 工作物を回転させて、該回転の角度に同期させて、工作物回転軸に直交する断面を含む平面内で移動する円筒形の工具（以下において円筒工具と称する）により、工作物を非円形に研削または切削する工作機械において、工作物の軸方向の所定間隔ごとの、軸と直行する断面の形状データを記憶する第一の記憶手段と、円筒工具の外形により形成される包絡面が工作物の外形となるように、記憶してある前記の直交断面の形状データを用いて、工具の軸方向位置及び工作物回転角に対応する円筒工具中心位置（以下において工具経路データと称する）を計算する計算プログラムと（このプログラムは後記コンピュータに内蔵して良い）、計算結果である工具経路データを記憶する第二の記憶手段と、第一の記憶手段への入力を行い、工具の寸法入力、工作物回転角指令、工具台及び工具台の工作物軸と平行方向への変位指令及び直交方向への変位指令の発生、入力値及び前記 2 種類のデータの読み出しを管制するコンピュータと、工作物を支持する主軸ヘッドと、この主軸を回転駆動するサーボ装置と、工作物に直交する断面内に回転軸を有する工具を備えて工作物回転軸に直交する方向に移動できる工具台と、該工具台を駆動するサーボ装置と、該工具台を搭載して工作物軸と平行方向に移動できる往復台と、該往復台の位置制御を行うサーボ装置とを備え、加工に先立って前記第一の記憶手段のデータを前記計算プログラムにより、前記工具経路データを計算して前記第二の記憶手段に蓄えておき、加工時には前記コンピュータにより、回転角指令信号、工作物軸方向位置指令信号を発生して、これらの指令信号に同期するように、前記第二記憶手段から工具経路データを読み出して、前記工具台を駆動するサーボ装置により円筒工具位置を決定して、前記主軸のサーボ装置により回転する工作物を自由曲面に加工することを特徴とする自由曲面加工装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は物体内に想定した 1 本の軸に垂直な断面がすべて凸形の単純閉曲線となる自由曲面体を、円筒形工具を用いて切削または研削する、自由曲面加工装置に関するものであって、自由曲面を有する製品またはプラスチック成形などに用いる型の加工に利用できる。

## 【0002】

【従来の技術】 回転する工作物の断面の周囲が凸形の単純閉曲線である場合に、工具を回転に同期させて変位することにより、所望の工作物形状を得る方法としては、といしを用いるカムシャフトの研削、旋盤による非円形切削を挙げることができる。

【0003】 カム研削の場合には、工作物は主軸に把持されて回転し、といしに接するので、本発明の装置と類

似の工具配置となるものがある、この場合には、カム軸の方向には断面変化が無いので、工具中心経路は、カムに外接する円筒中心の軌跡から 2 次元的に計算すればよい。3 次元的な軸方向変位にともなう断面変化により生じる工具経路の変化を考慮することが行われなかった。

【0004】 次に旋盤による非円形切削の場合は、工具が回転と同期して移動することは、本発明とも、カム研削とも共通しているが、工具先端が点とみなされるか、もしくはバイト先端と工作物を含む平面内の図形（バイト先端部の円弧）とみなされるため、工具経路がやはり 2 次元の計算により決定された。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 工作物を回転させて研削するカム研削の数値制御では、図 2 (a) のような配置とするものがある、この場合、Z 軸方向の工作物断面形状は一定のものであるため、工具と工作物の接触点 P の Z 軸方向座標は、工具中心の Z 軸方向座標と同じ値 Z である。したがって工具は X 軸方向に移動するが、その位置決定は平面問題である。工作物の断面形状が軸方向にもさまざまに変化する図 2 (b) のような場合には、工具軸中心座標 Z と、工作物と工具の接触点 P の Z 軸方向座標とは異なるため、従来の技術は適用できず、工作物外形と異なる工具中心の包絡面を想定して、工具の位置を決定する計算システムを有し、工作物回転角及び Z 軸座標により定まる位置に工具を位置制御する装置を開発する必要がある。

【0006】 工具としてバイトを使用する非円形断面切削加工においては、バイトのすくい角と逃げ角の形状により切削可能な断面形状は限定されてしまう。図 3 は非円形断面形状とすくい角及び逃げ角の関係を表したものである。図 3 に示したように動径変化率の大きな断面形状の工作物を回転させて切削する場合には、バイトのすくい角は回転に従って変化するので、すくい角を最適に保つことが出来ない。また逃げ角を大きく取らないとバイトの刃先と工作物が接触しなくなる。従って断面曲線の動径変化率が大きな工作物の加工はできない。さて工作物の回転速度はバイトを往復させるアクチュエータの応答速度により上限回転速度が制限される。しかるにバイトによる切削加工では切削速度は工作物の回転速度で決定され、この回転速度が前記アクチュエータにより定められる上限回転速度よりも、はるかに高い場合が多く、その結果劣等な切削条件で切削が行われる。これに対して、円筒工具においては工作物の断面がすべて凸形の単純閉曲線となる自由曲面体である必要があるが、断面曲線の動径変化率が大きくても切削加工が可能である。また切削速度は円筒工具の回転数で設定できるので、アクチュエータの応答性能に関係なく円筒工具の回転数を上げることにより切削速度を高くすることが出来る。

【0007】 しかしながら、バイトを使用する場合の工

3

具経路は自由曲面体の物体形状データと等しいと考えられるが、円筒工具による切削加工では自由曲面体と円筒工具との接触点が変わるために、工具経路は自由曲面体の形状データと一致しない。したがって工作物を回転させて自由曲面体に加工するには、形状データから円筒工具と自由曲面体の接触位置を演算して工具経路データを作成することが必要となる。

【0008】これらの異なる研削ないし切削形態において共通するところは、工作物を回転させて加工しようとする点である。たとえばピストン旋削における非円形断面切削のように断面変化がわずかな工作物ではなく、ゴルフクラブのように断面の軸方向変化が著しい工作物を、旋盤のように回転させる様式にて把持して、切削ならびに研削が可能な工作機械を提供することが、本発明の技術的課題である。

【0009】

【課題を解決するための手段】上述した問題点の解決を計る手段として、まず、エンドミルないし、円筒形といしなどの円筒工具を使用するものとし、その際に発生する当初課題との矛盾点を解決する方法を開発することにした。

【0010】一般に工作物の形状は、工具と工作物の接触点がどの位置になるかによって決定する。円筒工具を用いると、旋盤加工における、刃物形状による問題は解決するが、工作物のひとつの断面形状だけでは、工具の位置は全く定まらない。円筒工具とすれば、接触点の高さが旋盤のように一定ではなくなり、Z軸方向に工作物断面形が変わるために、接触点はZ軸方向にもずれる。このためまず工作物形状を、回転方向ならびに軸方向の十分細かい刻み点において、その動径値をデータ化し、そのすべてを用いて、所定の円筒工具を用いたときの包絡面上の点がこれらのデータと一致するような、円筒工具中心軸のX座標を計算し、この計算値が座標点となる新たな曲面（以下において工具移動曲面と称する）上の点における、回転角とZに対応するXを計算し、この計算値を工具の位置制御指令値として、工作物の回転及び工具台の軸方向移動に同期して、円筒工具を動かすことにした。

【0011】装置は図1に示すように、工作物断面形状を記憶する第一の記憶手段1、工具経路データを記憶する第二の記憶手段4、工具経路計算プログラムを備え、形状データ、工具寸法、切削条件などを入力し、サーボ装置への出力となる指令信号を発生するコンピュータ2、コンピュータ2からの指令をサーボコントローラ5に適する様式に変換するインターフェイス3、主軸サーボ装置（C軸）の制御器、往復台移動のためのサーボ装置（Z軸）の制御器、工具移動台のためのサーボ装置（X軸）のための制御器を内蔵しているサーボコントローラ5、C軸サーボモータ6、Z軸サーボモータ7、X軸サーボモータ8、工具駆動電動機9、円筒工具10、

4

往復台12、工具台13、主軸ヘッド16を主要な要素として、結合構成してある。図においては11は説明のため描いた工作物、14は説明のために記入した本装置の主軸であって工作物加工における中心軸と一致し、工作物はこの軸のまわりに回転する。また15は説明のために記入した工具中心の移動軸（X軸）、16は主軸ヘッドである。

【0012】上記の構成において、記憶手段1と記憶手段4はその役割において区別しなければならないので、別に記載してあるが、ハードウェアとしては、使用するコンピュータのハードディスクなどのように、同一の物品の異なる記憶場所であってさしつかえないし、フロッピーディスクなどの媒体が用いられていて、適宜コンピュータに読み込むものでも良い、また工具経路データの計算プログラムも実行時にはコンピュータに内蔵されていなければならないが、それ以外のときは、外部記憶媒体に保管してよい。Z軸及びX軸のサーボモータは、直流サーボモータ、交流サーボモータのほか、電気油圧サーボモータであってもよい。サーボコントローラは電圧値を入力とし、駆動軸からの位置検出信号のフィードバックを受け、入力とフィードバックとの偏差値を、電気サーボモータの駆動電流に変換する。これは市販の物品が多種類ある。電気油圧サーボモータの場合はコントローラはサーボ弁への電流を与えるものとなり、これも市販のものが多種類ある。

【0013】

【作用】上記の構成装置により、まず自由曲面体の形状データを記憶手段1に保管させ、入力装置4から円筒工具10の半径とZ軸の送り量と回転方向（角度）のデータのきざみなどを入力する。次に記憶手段1から形状データを読み出して、形状データと入力装置からのデータとからコンピュータ2で工具経路データを作成し、工具経路データを記憶手段4に保管しておく。自由曲面体を加工する場合にコンピュータ2は、記憶手段4より工具経路データを読み出し、インターフェイス3を経て、サーボコントローラ5により工具経路データを基にして各軸を駆動するサーボモータ6、7及び8を制御し、また円筒工具10を回転させる工具駆動電動機9を駆動することにより、自由曲面体形状の切削加工及び研削加工が可能となる。

【0014】

【実施例】本発明を実施例によって以下に説明する。図1は本発明による自由曲面加工装置の構成図である。記憶手段1は、加工すべき形状の軸にそった断面形状データを格納するものであって、データがコンピュータによって入力され、必要に応じて読み出される、磁気ディスクや半導体メモリである。コンピュータ2は本装置においては2種類の機能を備える。その一つは、第一の記憶手段1から形状データを読み出し、後述するアルゴリズムに従って工具経路データを生成し、これを第二の記憶

5

手段4に転送することである。その二つは、機械のC軸、Z軸を駆動するサーボ装置への指令信号を生成し、これらの信号と同期すべきX軸の位置指令信号すなわち、第二の記憶手段4に保管してある工具経路データを読み出し、これらの信号をサーボコントローラ5との間のインターフェイス3に送ることである。第二の記憶手段4は第一の記憶手段1と同じ形態のものでよい。実施例ではいずれもコンピュータに接続したハードディスクを用いている。インターフェイス3は計算機出力ポートからの信号を受けて、サーボコントローラ5に内蔵している複数のサーボ装置に別々に信号を送る。実施例ではC、Z、Xの各軸のそれぞれへの信号をこのインターフェイスにおいてD/A変換している。C軸はサーボコントローラ5の出力電流を受けるサーボモータ6により駆動される。C軸角度は図示しないロータリエンコーダで検出し、図示しないカウンタにて計数し、カウンタのパルス計数値をコンピュータにフィードバックすると同時に、F/V変換して、C軸サーボ制御装置に電圧をフィードバックしている。Z軸変位は往復台12の変位として実現する。Z軸変位はサーボコントローラ5から受ける電流で駆動されるサーボモータ7に直結したボールねじにより決定する。サーボモータ7にも図示しないロータリエンコーダが連結しており、回転角を検出し、C軸と同様なフィードバックを行っている。X軸は油圧シリンダをサーボ弁により駆動する油圧サーボモータ8を用いて駆動している。もちろんこの駆動軸をZ軸と同様な直流サーボモータとボールねじを用いる方式とすることは本発明の本質から離れるものではない。工具台13の上に円筒工具10と、工具をベルト駆動する電動機9が搭載しており、工具台13はX軸サーボ装置により、X軸方向に位置制御される。この場合の位置の指令信号は、コンピュータ2よりサーボコントローラ5に転送される工具経路データである。工具台13は往復台12上に搭載しており、往復台12には差動トランスが固定してあって、X軸の変位を検出し、サーボコントローラ5にフィードバックしている。

【0015】次に、記憶手段1に記憶された形状データとコンピュータ2に入力された円筒工具10の半径から工具経路データを作成するための手順を図4により説明する。

【0016】手順100は、記憶手段1に記憶された形状データをコンピュータ2に読み込む操作である。自由曲面体はその内部に1本の軸を定めZ軸とし、Z軸に垂直な方向にX軸をとり、X軸とZ軸に垂直な方向にY軸をとり、Z軸に垂直なX-Y断面の形状が単純な凸曲線であらわされるものとする。このような場合Z軸は中心軸14と一致する。またX軸を工具移動軸15方向にとるものとする。このようにすると円筒工具10の中心線はY軸に平行となる。自由曲面体の形状は関数 $r_0$

(Z,  $\theta$ )で表される。ここでZはZ軸の座標を表し、

6

$\theta$ はX-Y平面内でX軸を起点とする角度を表し、 $r_0$ (Z,  $\theta$ )はZ軸の座標ZにおけるX-Y平面内の角度 $\theta$ におけるZ軸から自由曲面体表面までの距離を表す。よって $r_0$ (Z,  $\theta$ )は自由曲面体の曲面を表す関数となり、自由曲面体の形状データは関数 $r_0$ (Z,  $\theta$ )で表される。ただし、実際に自由曲面体の形状データ $r_0$ (Z,  $\theta$ )をZと $\theta$ に対して連続的に定義することは少なく、自由曲面体モデルを作成し、これを3次元測定器等により離散的なZと $\theta$ における $r_0$ (Z,  $\theta$ )を与えることになる。ここでは、Z軸方向の刻みを $dZ_0$ 、 $\theta$ 方向の刻みを $d\theta_0$ とした形状データ $r_0$ (Z,  $\theta$ )を用いる。さらに、 $dZ_0$ は自由曲面体のZ軸方向の長さを整数で割ったものとし、 $d\theta_0$ は360度を整数で割ったものとする。このようにZ軸方向に $dZ_0$ 、 $\theta$ 方向に $d\theta_0$ 刻みで与えられた形状データ $r_0$ (Z,  $\theta$ )をワイヤーフレームで表すと図5のようになる。

【0017】手順101は、形状データ $r_0$ (Z,  $\theta$ )の $\theta$ 方向におけるデータの刻み $d\theta_0$ を $d\theta_1$ に変更する操作である。 $d\theta_1$ も $d\theta_0$ と同様に360度を整数で割ったものとする。この操作は刻み $d\theta_0$ が大きい場合に、より加工精度を上げるために刻み値を小さくするためのものである。よって $d\theta_0$ と $d\theta_1$ は、

【数1】

$$d\theta_0 > d\theta_1$$

の関係にある。刻み値を $d\theta_0$ から $d\theta_1$ に変更した場合、 $r_0$ (Z,  $\theta$ )で定義されないデータが生じるが、これは $r_0$ (Z,  $\theta$ )を $\theta$ 方向にスプライン曲線で補間することにより得られる。刻み $d\theta_0$ を $d\theta_1$ に変更した後の形状データを $r_1$ (Z,  $\theta$ )とすると、形状データ $r_1$ (Z,  $\theta$ )をワイヤーフレームで表したものは図6のようになる。

【0018】手順102は、形状データ $r_1$ (Z,  $\theta$ )から投影曲面データ $g_0$ (Z,  $\theta$ )を作成する操作である。この操作の必要性を図7により説明する。形状データ $r_1$ (Z,  $\theta$ )のZ軸に垂直な断面を角度 $\theta$ 回転させる。ここではX軸とY軸を $\theta$ 回転させた軸をX0軸及びY0軸とした。このとき形状データ $r_1$ (Z,  $\theta$ )のZ軸に垂直なX-Y断面の曲線に接触点をもつようなY軸に平行な直線を考える。つまり、これはY軸に平行な直線は円筒工具10の表面を表し、接触点は円筒工具10が加工物11を加工する点となる。このように円筒工具10を用いた場合には形状データ $r_1$ (Z,  $\theta$ )の角度 $\theta$ の場所を加工するには、投影曲面データ $g_0$ (Z,  $\theta$ )が必要となる。 $d\theta_1$ 間隔における角度 $\theta$ における $g_0$ (Z,  $\theta$ )は、X0軸を起点とする角度 $\phi$ を、

【数2】

$$0^\circ \leq \phi < 360^\circ$$

の範囲で、

【数3】

$$r_1(Z, \theta) = g_0(Z, \phi)$$

50

7

が最大となる角度 $\phi$ を用いることにより、

$$g_0(Z, \theta) = \max(r_1(Z, \theta) \times \sin(\phi - \theta))$$

与えられる。この操作を行う場合、形状データ $r_1(Z, \theta)$ は連続関数である必要が生じるが、これは $d\theta$ 1間隔の形状データ $r_1(Z, \theta)$ をスプライン曲線で表すことにより可能となる。図8はこのようにして作成した投影曲面データ $g_0(Z, \theta)$ と形状データ $r_1(Z, \theta)$ のX-Y断面を表したものである。この図で、白丸は $d\theta$ 1間隔で定義された形状データ $r_1(Z, \theta)$ で、黒丸は同じく $d\theta$ 1間隔で作成された投影曲面データ $g_0(Z, \theta)$ である。図9は投影曲面データ $g_0(Z, \theta)$ をワイヤーフレームで表したものである。

【0019】手順103は、投影曲面データ $g_0(Z, \theta)$ のZ軸方向におけるデータの刻み $dZ_0$ を $dZ_1$ に変更する操作である。 $dZ_1$ も $dZ_0$ と同様に自由曲面体のZ軸方向の長さを整数で割ったものとする。この操作は刻み $dZ_0$ が大きい場合に、より加工精度を上げるために刻み値を小さくするためである。よって $dZ_0$ と $dZ_1$ は、

【数5】

$$dZ_0 > dZ_1$$

の関係にある。刻み値を $dZ_0$ から $dZ_1$ に変更した場合、 $g_0(Z, \theta)$ で定義されないデータが生じるが、これは $r_0(Z, \theta)$ をZ軸方向にスプライン曲線で補間することにより可能となる。刻み $dZ_0$ を $dZ_1$ に変更した後の投影曲面データを $g_1(Z, \theta)$ とすると、投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ をワイヤーフレームで表したものは図10のようになる。

【0020】手順104は、X-Y平面内で角度 $\theta$ の方向にR軸をとり、投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ の角度 $\theta$ におけるR軸上の投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ の凹曲線となる最小曲率半径 $r_{min}$ を求める操作である。R軸上の投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ の曲率半径はZ軸上に間隔 $dZ_1$ で与えられた投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ の $dZ_1$ 間隔で連続する3つの $g_1(Z, \theta)$ から、これらの3点を通る円を求め、この円の半径で与えられる。曲率が正の区間における、これらの円の半径の最小値を最小曲率半径 $r_{min}$ とする。

【0021】手順105は、操作者がコンピュータ2に円筒工具10の半径 $r_t$ を入力する操作である。

【0022】手順106は、最小曲率半径 $r_{min}$ と円筒工具10の半径 $r_t$ を比較し、

【数6】

$$r_t \leq r_{min}$$

である場合には、手順107に進み、

【数7】

$$r_t > r_{min}$$

である場合には、手順105に戻る操作である。この操作は最小曲率半径 $r_{min}$ が円筒工具10の半径 $r_t$ よ

8

【数4】

り小さいときには、加工物11を自由曲面体に加工できないことによる。

【0023】手順107は、投影曲線データ $g_1(Z, \theta)$ と工具半径 $r_t$ により工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ を作成する操作である。この操作は下記のようにして行う。図11は、X-Y平面内で角度 $\theta$ 方向にR軸をとり、R-Z平面内の投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ を表したものである。投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ 上の点に接するように半径 $r_t$ の円筒工具を表す円を描くと、半径 $r_t$ の円の中心が描く曲線が工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ のR-Z平面における断面である。円筒工具を表す円の中心座標 $(Z_t, R_t)$ は、円と投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ の座標を $(Z, R)$ とし、座標 $(Z, R)$ における曲面データ $g_1(Z, \theta)$ のR-Z平面内の接線の傾きを $\Psi$ とすると、

【数8】

$$Z_t = Z - r_t \times \sin(\Psi)$$

20 【数9】

$$R_t = R + r_t \times \cos(\Psi)$$

で表される。ただし、Rは投影曲面データ $g_1(Z, \theta)$ の定義により、

【数10】

$$R = g_1(Z, \theta)$$

と表される。このような座標 $(Z, R)$ から円筒工具中心座標 $(Z_t, R_t)$ への変換を、Z軸方向に $dZ_1$ 間隔で、 $\theta$ 方向に $d\theta$ 1間隔で行った、円筒工具中心座標 $(Z_t, R_t)$ で表される曲面を工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ とする。図12は図中にZ軸座標の $dZ_1$ 間隔における投影曲線 $g_1(Z, \theta)$ の角度 $\theta$ におけるR-Z平面と、工具移動曲面と、円筒工具を表す半径 $r_t$ の円とを表したものである。白丸は $dZ_1$ 間隔における投影曲線 $g_1(Z, \theta)$ 、黒丸は円筒工具を表す半径 $r_t$ の円の中心である。図13は工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ をワイヤーフレームで表したものである。

【0024】手順108は、工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ が $\theta$ 方向には $d\theta$ 1間隔で定義されているが、図12の白丸のZ軸方向の間隔を見ればわかるようにZ軸方向には等間隔で定義されていないのを、工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ をZ軸方向に $dZ_2$ 間隔で計算したデータにより再構築した工具移動曲面 $t_1(Z, \theta)$ を作成する手順である。間隔 $dZ_2$ は工具移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ のZ軸方向の最大長さを整数で割った値とする。前記の曲面の再構築には移動曲面 $t_0(Z, \theta)$ をR-Z平面内でスプライン曲線で表し、スプライン曲線からZ軸方向に $dZ_2$ 間隔で移動曲面 $t_1(Z, \theta)$ のデータを算出する。図14は工具移動曲面 $t_1(Z, \theta)$ をワイヤーフレームで表したものである。

【0025】手順109は、工具移動曲面 $t_1(Z, \theta)$

θ) から工具経路データを作成する操作である。この操作を図15により説明する。工具移動曲面  $t_1(Z, \theta)$  のZ軸方向の分割数をN、θ方向の分割数をMとすると、図15に示したように工具移動曲面  $t_1(Z, \theta)$  はZ軸方向には1番からN+1番まで、θ方向には1番からM番までと番号を付けた直線の交点にデータがある。工具経路データはZ軸方向の移動量Zとθ方向の角度θ及び  $t_1(Z, \theta)$  で構成されるもので、1番から番号が付けられる。i番目の工具経路データ  $Z_i$ 、 $\theta_i$ 、 $t_{1i}$  は、

【数11】

$$Z_i = (i - 1) \times dZ$$

【数12】

$$\theta_i = ((i - 1) \bmod M) \times d\theta$$

【数13】

$$t_{1i} = t_1(Z_i, \theta_i)$$

で表される。ここで、

【数14】

$$(i \bmod M)$$

はiをMで割った余りを表す。よって、図15のようにM+1番目の  $\theta_{M+1}$  は

【数15】

$$\theta_{M+1} = 0$$

となる。また、工具経路データの最大番号はN+1番である。

【0026】手順110は、手順109で作成したN+1個の工具経路データを記憶手段4に記憶する操作である。

【0027】以上のようなアルゴリズムは計算プログラムとしてコンピュータ2に移植しておき、加工に先だつて第一の記憶手段1からデータを読み出して、計算を実行して、工具経路データを求め、その結果は第二の記憶手段4に蓄えておく、実際の切削、研削時には、第一の記憶手段1は使用しない。以下において、実施例における切削（研削）の手順を説明する。

【0028】実施例における切削（研削）の手順を図16により説明する。以下の説明で使用する記号、 $dZ$  及び  $d\theta$  は前記した工具経路データの生成の説明で利用したものと同一である。

【数18】

$$TPX_n = n \text{ 番目の工具経路データ}$$

で表される。ここで、 $d\theta$  は読み出したデータ間隔に対応するθ方向の回転角、 $dZ$  は読み出したデータ間隔に対応するZ軸方向変位量である。工具経路データの1番目に移動する場合を図17(a)により説明する。この場合には、円筒工具10は手順203で初期化した位置にあり、この位置から工具経路データの1番目で指定された位置に移動する。このときC軸の座標値に変化がなくC軸は停止したままである。円筒工具10が工具

\*【0029】手順200は、コンピュータ2にC軸速度を入力する操作である。

【0030】手順201は、仕上削りでは全ての工具経路データを番号順に読み出し、粗削りでは、Z軸方向及び、θ方向に一定の番号間隔で、データを抜いて読み出す方法を指定する操作である。

【0031】手順202は、コンピュータ2が工具経路データを記憶手段4から読み出す操作である。

【0032】手順203は、C軸、Z軸、X軸を初期化する操作である。この操作はこれらの各軸方向に回転及び位置制御を行うための原点位置を決定する操作である。C軸の回転角の基準線はX軸方向とする。また、Z軸及びX軸の原点位置は図17(a)のTP0に示すように、手順204で取り付ける工作物11に円筒工具10が接触しない位置とする。

【0033】手順204は、工作物11を加工装置に取り付ける操作である。なお、図17(a)に示すように工作物11の両端にジグを取り付けることにより、円筒工具10がチャック部分に干渉しないようにすることができる。このようにジグを取り付けた場合には、開始位置のZ軸座標はTPZ0となる。

【0034】手順205は、加工を開始する操作である。この操作は、コンピュータ2に開始する指令を与えることに相当する。

【0035】手順206は、電動機9を動かし円筒工具10を、適切な切削または研削速度に回転させる操作である。

【0036】手順207は、工具経路データの番号をnで表したときにnを1とし、工具経路データのデータ数を  $n_{max}$  と定めるコンピュータ2の内部操作である。

【0037】手順208は、円筒工具10の位置を工具経路データのn番目に指示される位置に移動させる操作である。ここで説明のために工具経路データのn番目のC軸、Z軸、X軸の座標をTPCn、TPZn、TPXnとする。このように定義すると工具経路データのn番目の各軸における座標値は、

【数16】

$$TPC_n = (n - 1) \times d\theta$$

【数17】

$$(n - 1) \times dZ$$

経路データの1番目に移動したときには、図17(a)のA-A断面を描いた図17(b)の斜線で表された部分が円筒工具10により工作物11から削り取られる。次に、nが1より大きい場合の、工具経路データのn番目に移動する場合を図18と図19により説明する。図18のPTn-1は工具経路データのn-1番目の、PTnはn番目の円筒工具位置を、工具経路データがn-1番目の時の工作物位置で表している。図18で表されるようにPTn-1では円筒工具10が自由曲面体に接触していることがわかる。n-1番目からn番目では、

11

円筒工具はZ軸方向にdZ3移動している。しかし、PTnでは円筒工具10は自由曲面体に接触していないように描かれているがこれは次のような理由による。図19(a)は図18のB-B断面を描いたものであり、円筒工具10は自由曲面体と接触している。図18のC-C断面を描いた図19(b)のようにn-1番目からn番目に移る間に、自由曲面体がZ軸を中心にしてdθ2だけ回転し、X軸方向の座標がTPXn-1からTPXnに変化しているためである。

【0038】手順209は、nがnmaxに等しいとき手順211に進み、等しくないとき手順210に進む操作である。この操作は加工工程の終了を検出する働きをする。

【0039】手順210は、nを1つ増やし、手順208に進む操作である。この操作は工具経路データの番号を1つ増やす働きをする。以上のように手順208から手順210の繰り返しにより加工を行う。

【0040】手順211は、円筒工具10の退避位置への移動、円筒工具10の回転停止、工作物11の取り外し等の操作である。この操作は、加工終了に伴う一連の操作である。

【0041】以上の手順200から手順211の操作により工作物11は所望する自由曲面体に加工できる。なお、ここでは1つの工作物を加工するものとして説明したが、2個目以上の工作物を加工する時は手順203から手順211を繰り返すことになる。また、1つの加工物について粗削りから仕上削りに移る場合には手順201において、データの読み出し間隔を最も密に変更する指定を与え、202以下の手順に従えばよい。

【0042】

【発明の効果】本発明においては、自由曲面体の形状データから円筒工具の工具経路データを生成することにより、円筒工具による自由曲面体の切削加工及び研削加工を可能ならしめている。この加工法により、バイトを用いた非円形切削において生じる、切削速度とサーボ装置応答速度の不適合問題の解決がはかられ、バイトの逃げ角及びすくい角が物体形状と干渉したり、力学的不適合を生じる問題が解決された。さらに本発明の装置を利用して、軸にそう断面変化が一様でない物体、とくに工芸家や工業デザイナーなどの製品を模範とする型を加工する、手作業の多い分野にひろく機械切削、研削が適用できるようになった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例による自由曲面加工装置の構成図。

【図2】軸に沿って一様でない断面の物体を加工する場合の問題点説明図。

【図3】非円形断面物体を旋削する場合の問題点説明図。

【図4】工具経路データを作成するための手順である。

(7)

12

【図5】形状データr0(Z, θ)をワイヤーフレームで表したものである。

【図6】形状データr1(Z, θ)をワイヤーフレームで表したものである。

【図7】形状データr1(Z, θ)から投影曲面データg0(Z, θ)を作成する必要性を説明したものである。

【図8】投影曲面データg0(Z, θ)と形状データr1(Z, θ)のX-Y断面を比較して表したものである。

【図9】投影曲面データg0(Z, θ)をワイヤーフレームで表したものである。

【図10】投影曲面データg1(Z, θ)をワイヤーフレームで表したものである。

【図11】R-Z平面内の投影曲面データg1(Z, θ)を表したものである。

【図12】Z軸座標のdZ1間隔における投影曲線g1(Z, θ)の角度θにおけるR-Z平面上に、該平面と工具移動曲面の交線と、円筒工具を表す半径rtの円とを表したものである。

【図13】工具移動曲面t0(Z, θ)をワイヤーフレームで表したものである。

【図14】工具移動曲面t1(Z, θ)をワイヤーフレームで表したものである。

【図15】工具移動曲面t1(Z, θ)から工具経路データを作成する方法の説明図である。

【図16】切削(研削)の手順である。

【図17】円筒工具を工具経路データの1番目に移動する手順の説明図である。

【図18】円筒工具をZ軸方向に工具経路データのn番目に移動する手順の説明図である。

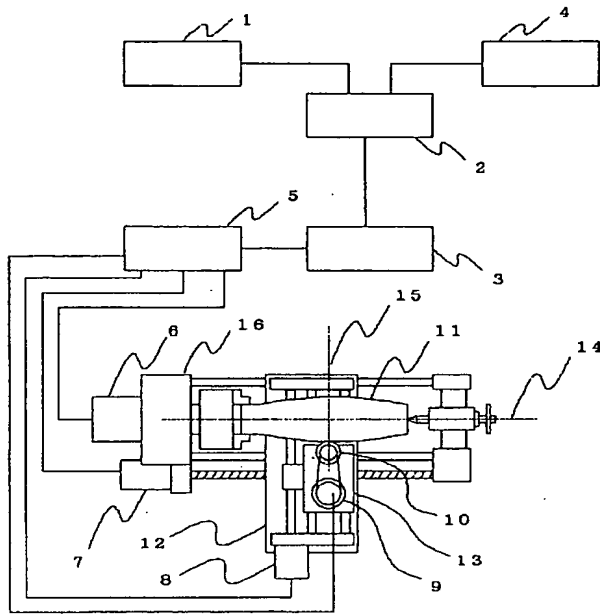
【図19】円筒工具をX軸方向に工具経路データのn番目に移動する手順の説明図である。

【符号の説明】

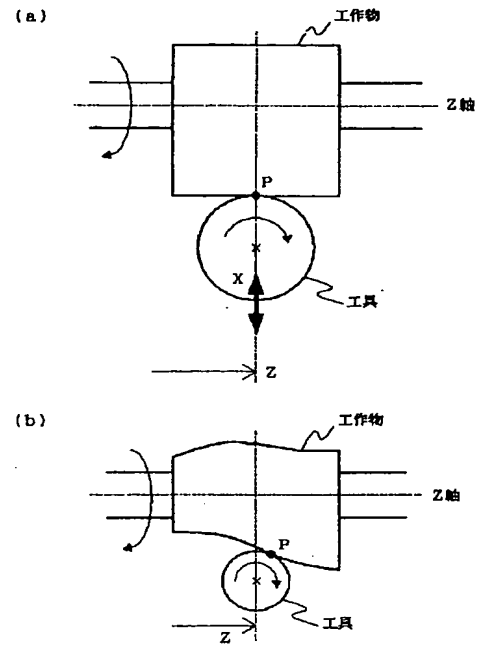
- 1 第一の記憶手段
- 2 コンピュータ
- 3 インターフェイス
- 4 第二の記憶手段
- 5 サーボコントローラ
- 6 C軸サーボモータ
- 7 Z軸サーボモータ
- 8 X軸サーボモータ
- 9 工具駆動電動機
- 10 円筒工具
- 11 工作物
- 12 往復台
- 13 工具台
- 14 主軸
- 15 工具中心の移動軸
- 16 主軸ヘッド



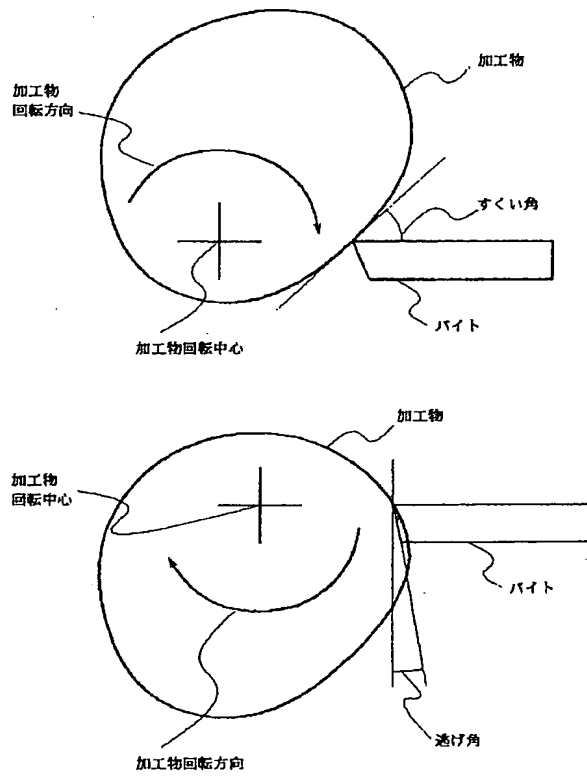
【図1】



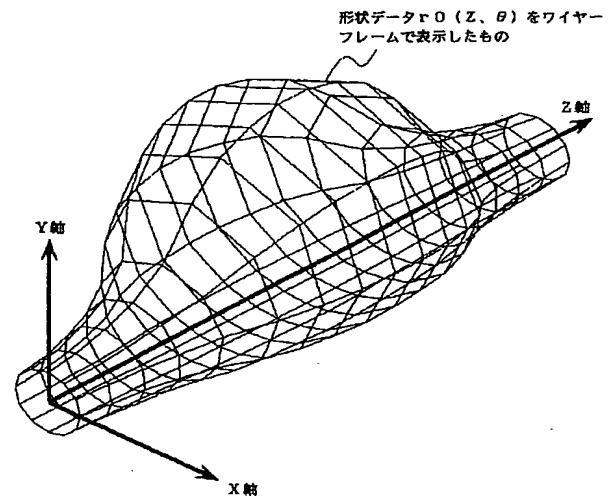
【図2】



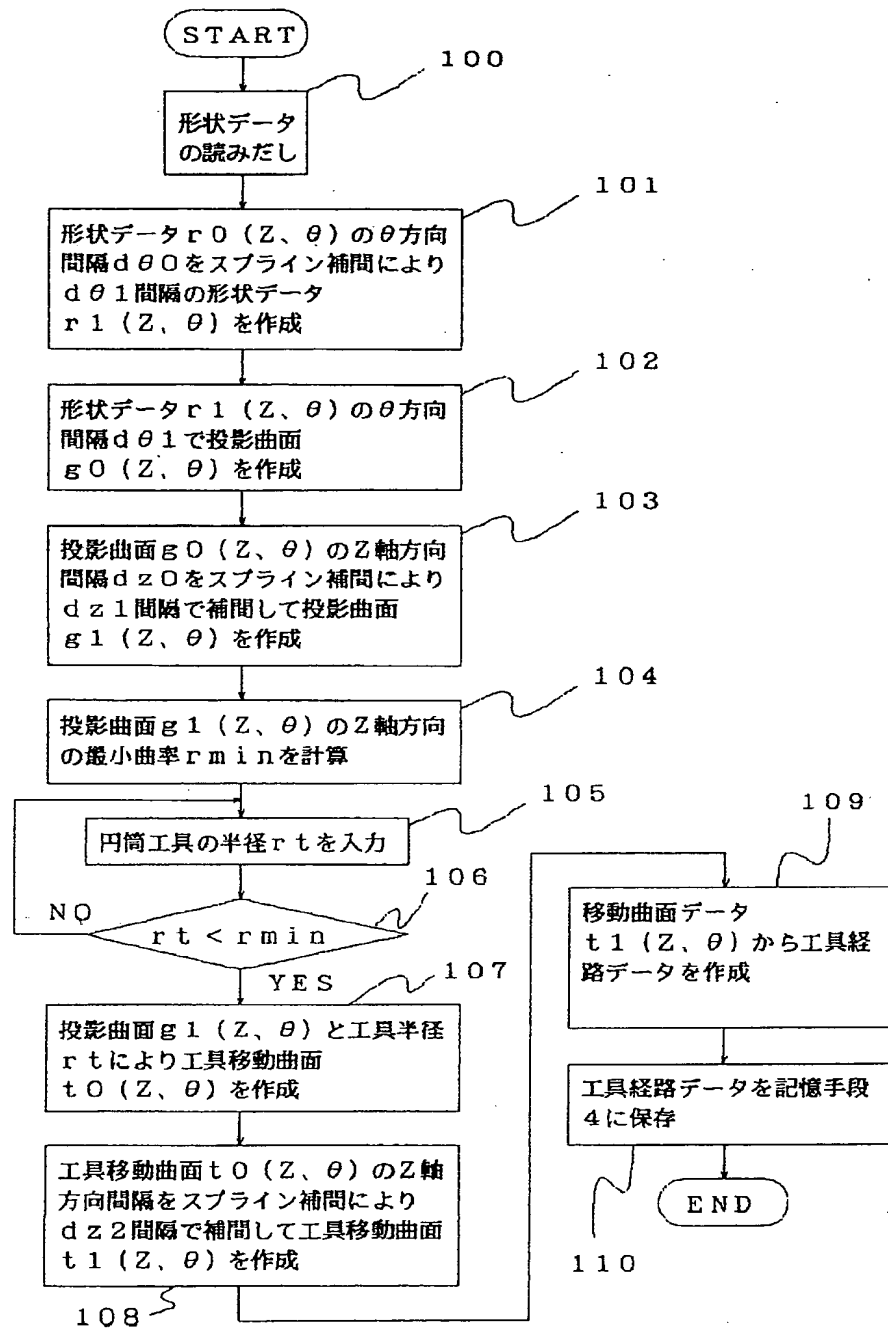
【図3】



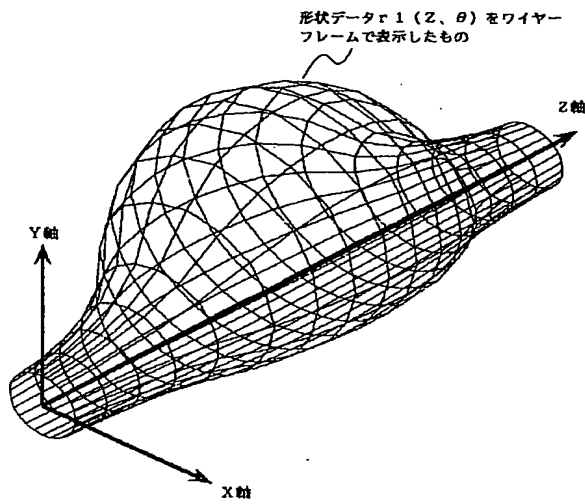
【図5】



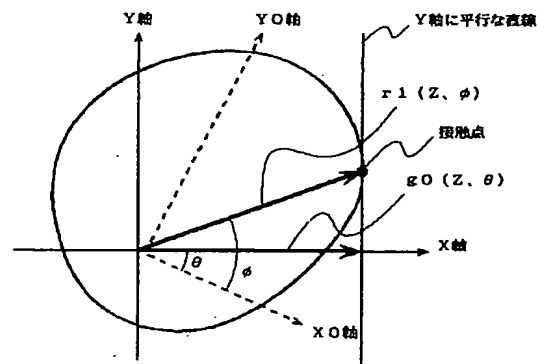
【図4】



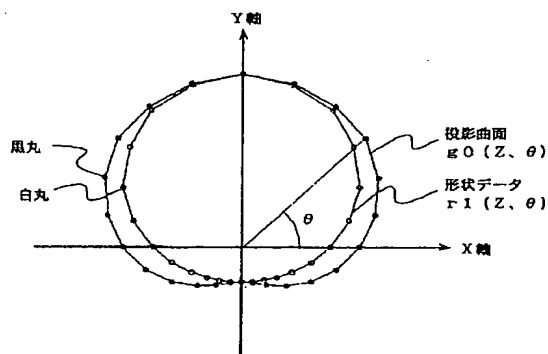
【図 6】



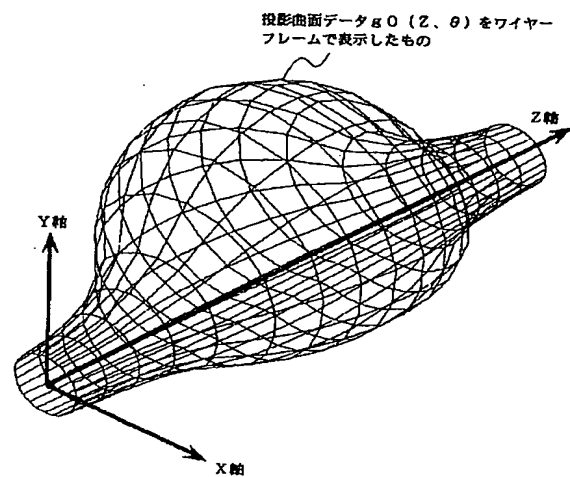
【図 7】



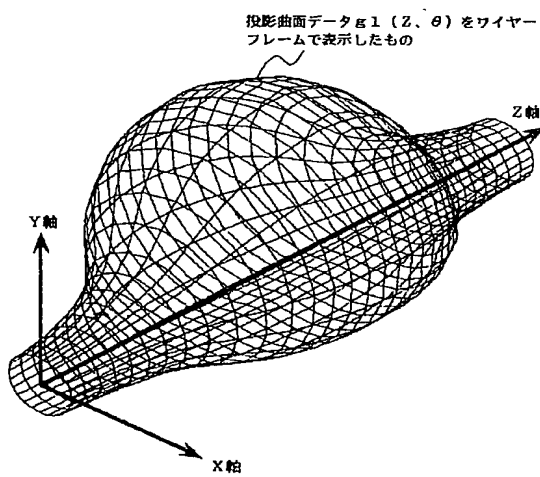
【図 8】



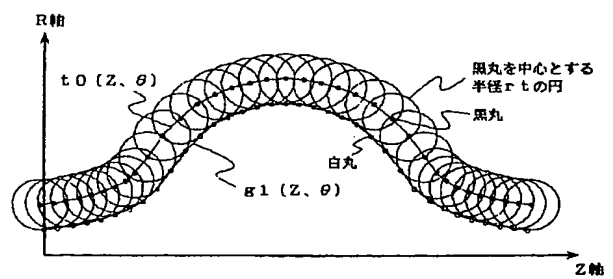
【図 9】



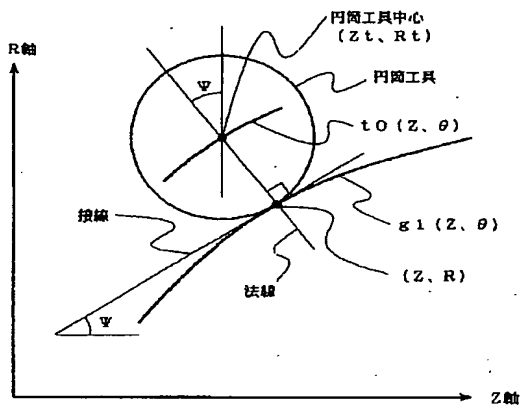
【図 10】



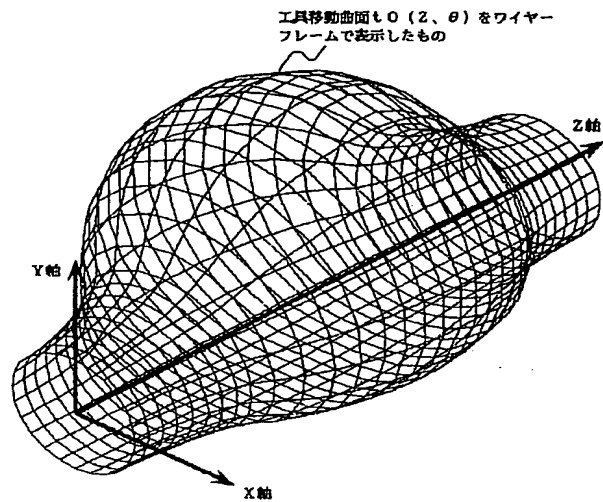
【図 12】



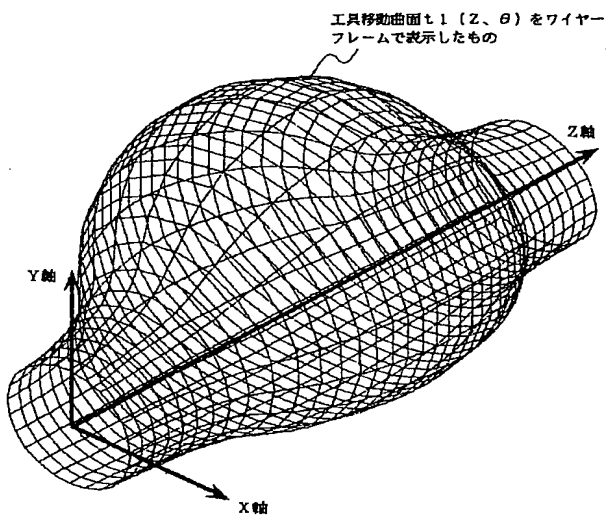
【図11】



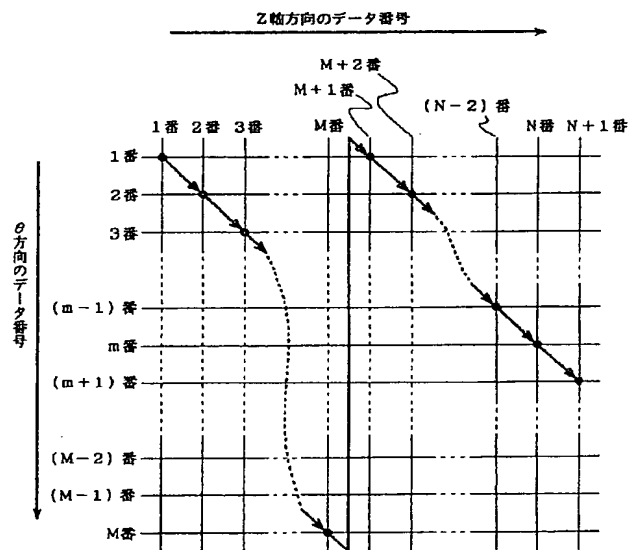
【図13】



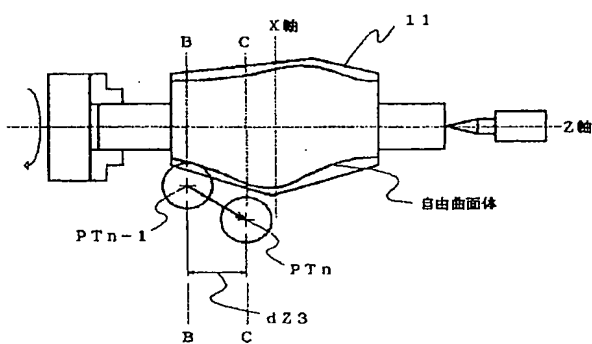
【図14】



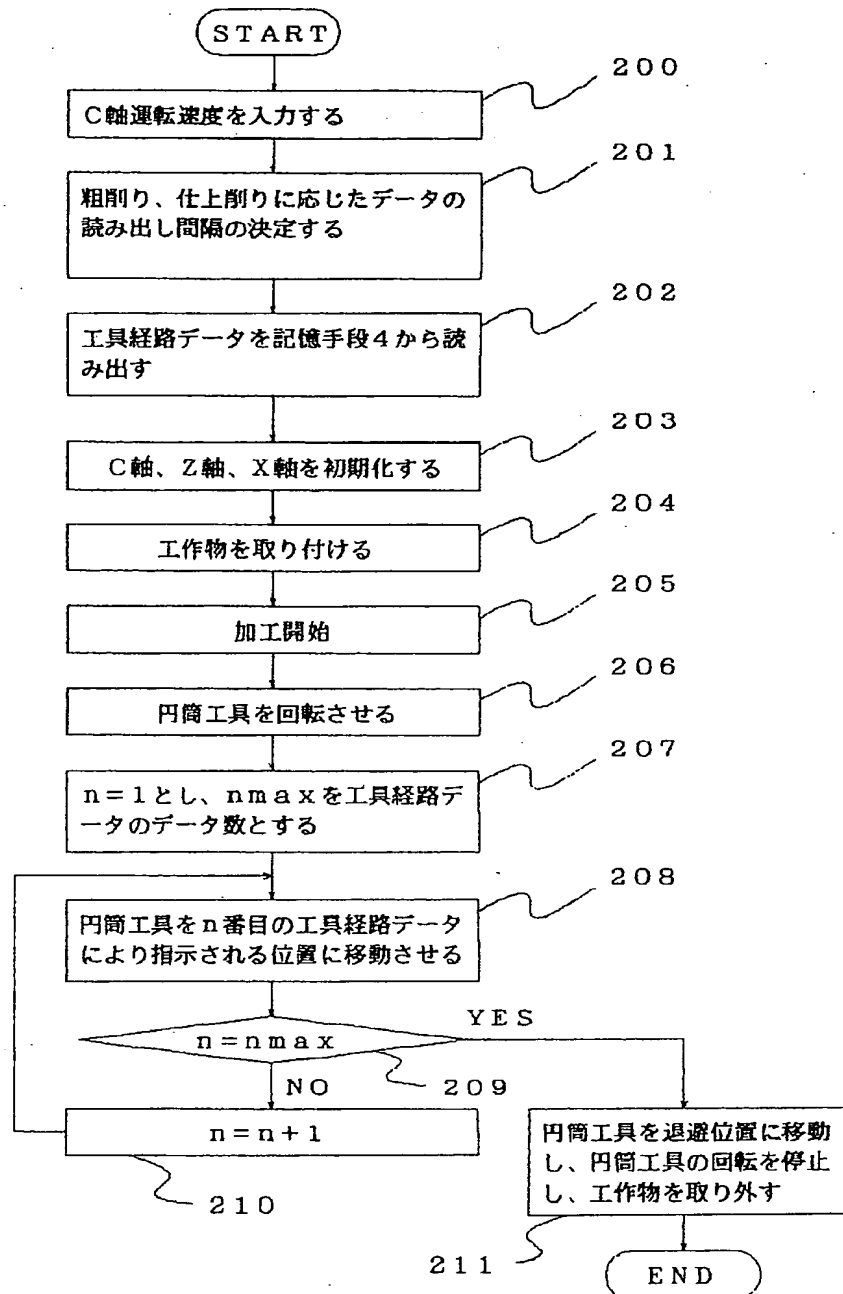
【図15】



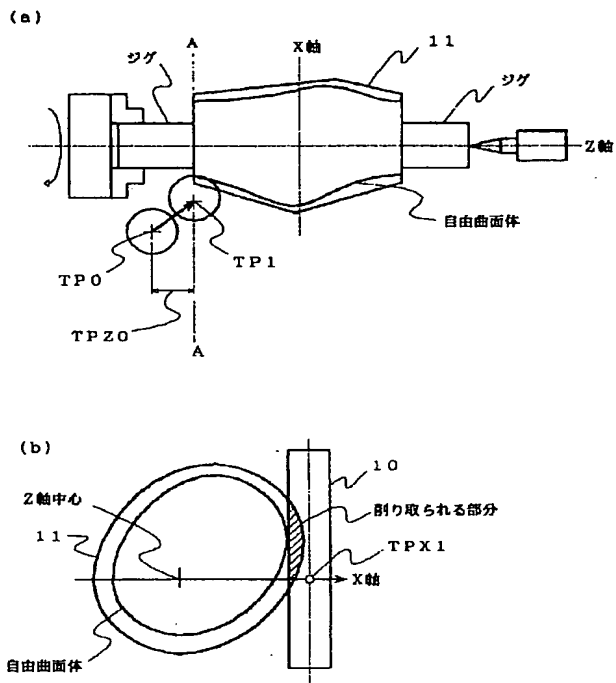
【図18】



【図16】



【図17】



【図19】

